



Dr hab. Wojciech Dybalski, prof. UAM
Collegium Mathematicum
Uniwersytet im Adama Mickiewicza
w Poznaniu
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 4
61-614 Poznań

Prof. dr hab. Jacek Golak
Przewodniczący Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Instytut Fizyki Teoretycznej
ul. Łojasiewicza 11
30-348 Kraków.

Recenzja pracy doktorskiej “Algebraiczne podejście do efektu Casimira w układzie z dwoma potencjałami typu quasi-delta” autorstwa mgr Kamila Ziemiana

Szanowny Panie Profesorze,

żeby móc ocenić prezentowane w rozprawie oryginalne rezultaty, konieczne jest nakreślenie stanu badań z zakresu efektu Casimira. Ze względu na ogrom literatury przedmiotu, dyskusja ta będzie bardzo szkieletowa. Jak przypomniano na str. 9 recenzowanej pracy, oddziaływanie elektromagnetyczne pomiędzy ciałami makroskopowymi ma podobną naturę do sił van der Waalsa, i można je wyznaczyć korzystając z teorii Lifszycy. Wydaje się jednak, że rzetelne ale żmudne obliczenia Lifszycy nie wzbudziły takiego zainteresowania badaczy jak wcześniejszy heurystyczny ale intrygujący argument Casimira. Jak kandydat wyjaśnia w podrozdziale 2.1, argument ten, dotyczący przyciągania się metalowych płyt umieszczonych w próżni, jest z wielu powodów niesatysfakcjonujący. Na przykład do końcowego wzoru wprowadzona jest ad hoc pewna funkcja f modelująca właściwości materiału, z którego wykonane są płyty. Tym niemniej praca Casimira dostarczyła motywacji do dalszych poszukiwań prostego wyjaśnienia rozważanego efektu, omijającego teorię Lifszycy. W literaturze przedmiotu nie brakuje pomysłów, niektóre omawiane w rozdziale 5, jednak są to raczej recepty obliczeniowe niż koncepcyjnie satysfakcjonujące teorie.

Podejściem do kwantowej teorii pola, które szczególnie dobrze nadaje się do badania problemów koncepcyjnych, jest algebraiczna kwantowa teoria pola. W serii prac, Herdegen rozwinął formalizm pozwalający na badanie efektu Casimira w ramach podejścia algebraicznego. Pierwsza, bardziej ogólna część tego formalizmu opisuje jakościowo modyfikację dość ogólnej dynamiki na C^* -algebrze pól kwantowych, spowo-

dowaną wprowadzeniem ciał makroskopowych. Zaproponowany wzór na energię Casimira to wartość oczekiwana niezaburzonego Hamiltonianu pola kwantowego na zaburzonym stanie podstawowym. Ważnym wymogiem jest unitarna równoważność teorii zmodyfikowanej z teorią wyjściową - dzięki temu różniczkowanie definiujące siłę Casimira ma sens fizyczny. Druga, bardziej szczegółowa część formalizmu dotyczy teorii quasi-swobodnej opartej na pewnej przestrzeni symplektycznej i związanej z nią algebrze Weyla. Na tym bardziej konkretnym poziomie zaburzenie dynamiki można modelować modyfikując Hamiltonian jednocząstkowy h . Wybór zmodyfikowanego operatora h_a , który charakteryzuje się pewną dowolnością, dyktuje intuicja fizyczna i wspomniany wyżej wymóg unitarnej równoważności. Ten ostatni warunek wymusza regularyzację nadmiernie wyidealizowanych sytuacji geometrycznych (np. warunki brzegowe Dirichleta lub Neumanna) mierzoną parametrem λ . Dopiero po zakończeniu obliczeń bada się asymptotykę otrzymanych wyrażeń ze względu na λ , zbliżając się w kontrolowany sposób do wyidealizowanej sytuacji. Pomimo że operator h_a wydaje się być dalekim echem funkcji f Casimira, nie jest on wprowadzany ad hoc pod koniec obliczeń, ale od początku definiuje rozważany model. Sytuację geometryczną odpowiadającą dwóm płytom mogą opisywać bardzo różne matematycznie operatory h_a . Na przykład w pracy Herdegena i Stopy operator h_a to Laplasjan zaburzony operatorem skończonego rzędu. Trzeba dodać, że formalizm Herdegena definiuje również gęstość energii dla problemu Casimira przy pomocy odpowiednio zregularyzowanego tensora napięć-energii.

Na podstawie naszkicowanego powyżej stanu badań przejdę teraz do omówienia oryginalnego wkładu naukowego kandydata. Ziemiań rozważa problem oddziaływania pomiędzy dwoma (quasi-)punktowymi ciałami makroskopowymi, które nazywa quasi-deltami. Małe rozmiary tych ciał, znów mierzone parametrem λ , nie kłócą się z ich makroskopowością, ponieważ ten ostatni atrybut służy jedynie wyróżnieniu pewnych stopni swobody. Operator h_a , który autor wybrał do opisu tego układu, ma podobną ogólną matematyczną strukturę do operatora z pracy Herdegena i Stopy. Obliczenie energii Casimira wymaga zbadania własności spektralnych operatora h_a , takich jak dodatniość i absolutna ciągłość spektrum. Dzięki prostej matematycznej strukturze tego operatora można to wykonać korzystając ze standardowych rezultatów i jawnych obliczeń. Inaczej niż w przypadku dwóch płyt, wzór na energię Casimira nie wydaje się zawierać uniwersalnego wkładu, niezależnego od przyjętego modelu i regularyzacji. Otrzymane wyrażenie jest dość skomplikowane i badanie jego zależności od parametrów wymaga analizy numerycznej. Co ciekawe wzór na gęstość energii, również wprowadzony w pracy, zawiera wkład niezależny od modelu, mianowicie gęstość energii oddziaływania. Problem efektu Casimira dla dwóch bardzo małych ciał makroskopowych był rozważany wcześniej w literaturze i kandydat przeprowadza szczegółowe porównania. Ze względu na różnice w stosowanych formalizmach, trudno tu o definitywne wnioski odnośnie zgodności wyników lub jej braku. Nie mam jednak wątpliwości, że

wyniki otrzymane przez Ziemiana oparte są na znacznie solidniejszych podstawach niż rezultaty tych wcześniejszych prac. Szczególnie cieszy brak recept obliczeniowych typu ‘zeta-regularyzacji’, w które obfituje literatura przedmiotu.

Dla kompletności, krótko omówię strukturę recenzowanej pracy. Rozdział 1 zawiera zwięzłe streszczenie pracy. W rozdziale 2 autor omawia argument Casimira, podejście Lifszycy i prace eksperymentalne, idąc tropem historycznym. W rozdziale 3 omówione jest podejście Herdegena wraz z dotychczasowymi zastosowaniami. Rozdziały 4 i 5 to zasadnicza część pracy zawierająca oryginalne wyniki autora dotyczące układu z dwoma quasi-deltami i ich porównanie z literaturą. Pewne podręcznikowe tematy dot. drugiej kwantyzacji jak również niektóre techniczne obliczenia i oszacowania umieszczone są w dodatkach. Orientacyjnie, pierwsza połowa pracy poświęcona jest stanowi badań a druga oryginalnym rezultatom autora. Muszę dodać, że praca napisana i zredagowana jest bardzo starannie, w sposób zachęcający do czytania.

Przechodząc do oceny i podsumowania, uważam, że ogólna wiedza kandydata z zakresu fizyki teoretycznej, zademonstrowana w pracy, w pełni kwalifikuje go do uzyskania stopnia doktora. Co więcej, otrzymane oryginalne rezultaty stanowią znaczący wkład w badania nad efektem Casimira. Istotnie, jest to pierwsza, oparta na solidnych podstawach koncepcyjnych, analiza efektu Casimira dla układu dwóch ciał quasi-punktowych. Jakość tych rezultatów potwierdza ich publikacja w renomowanym czasopiśmie *Annales Henri Poincaré*, jak i zainteresowanie innych badaczy tym artykułem, o czym mowa na str. 107 pracy. **Dlatego jestem przekonany, że kandydat spełnia ustawowe kryteria dot. stopnia doktora (t.j Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm).** Idąc dalej, można zapytać czy ten znaczący wkład kandydata w badania nad efektem Casimira należy nazwać technicznym lub koncepcyjnym przełomem. Myślę, że jednak nie. Ziemian nie oddala się zanadto od szlaków wytyczonych przez Herdegena. Jak wspomniałem wyżej, jego operator h_a ma podobną strukturę jak w pracy Herdegena i Stopy. Ponadto nie dostrzegam prób dalszego rozwinięcia formalizmu Herdegena na poziomie koncepcyjnym.

Z wyrazami szacunku,

Wojciech Dybalski

Wojciech Dybalski